

別紙 4

報告番号	※ 甲 第 号
------	---------

主 論 文 の 要 旨

論文題目 Reconstruction of cosmic-ray intensity in the past from measurements of radiocarbon in tree rings (樹木年輪中放射性炭素 ^{14}C 濃度測定による過去の宇宙線強度の復元)

氏 名 三宅 芙沙

論 文 内 容 の 要 旨

放射性炭素 ^{14}C は、地球外から飛来する宇宙線が大気分子と反応して生成される。その後 ^{14}C は酸化されて二酸化炭素になり、光合成によって樹木へと取り込まれる。従って、年輪中の ^{14}C 濃度は過去の宇宙線強度を記録している。 ^{14}C 濃度測定の先行研究として、過去 1 万年をカバーする 10 年平均値の IntCal 変動曲線があり、長期的な宇宙線活動が緩やかな変化として現れている。

短期間に到来宇宙線が増加するような、宇宙の高エネルギーイベント（超新星爆発、ガンマ線バースト、太陽フレアなど）が起きた場合、その痕跡が ^{14}C 濃度の急激な上昇として、年輪中に刻まれていることが期待できる。このような突発的イベントは、10 年分解能の IntCal のデータからはとらえることができない。また、これまで観測された太陽フレアや、歴史記録にある超新星爆発の起きた前後の年輪の 1 年分解能の測定データからも、はっきりとした ^{14}C 濃度増加は見られない。しかしこのような高分解能の測定は、ほんのわずかな期間に行われているにすぎず、それ以外の期間では ^{14}C 濃度の急増が検出されるような宇宙線急増イベントが起きていても不思議ではないと考えられる。

同様な ^{14}C 濃度の急増は、1960 年代前半に集中して行われた大気圏内核実験により引き起こされ、Bomb effect と呼ばれている。大気圏での核実験が 1963 年に禁止された以降には増加した ^{14}C 濃度が大気循環によってゆるやかに減衰していった。このような ^{14}C 濃度変化プロファイルは、 ^{14}C の地球大気への突発的な宇宙線のインプットに対する応答であり、過去の宇宙線増加イベントを探索するうえで鍵となる。

本研究ではこれまで高分解能で測定されてこなかった期間の年輪から宇宙の高エネルギーイベントを検出することを目的に、1-2 年分解能で ^{14}C 濃度測定を行なった。樹木サンプルからグラファイトを抽出し、 ^{14}C 濃度を名古屋大学年代測定センターの加速器質量分析計 (AMS) で測定した。IntCal の 10 年おきのデータからは、過去 3000 年間で 3 つの急増が認められる (BC7 世紀、8 世紀および 19 世紀)。しかし、このうち BC7 世紀と 19 世紀のものはすでに 1 年分解能で測定されており、1 年間で急増するようなものではないことがわかっていた。そこで、本研究では 8 世紀のイベントの周辺に注目し、1-2 年の分解能で詳しく調べ、その特徴を明らかにする

ことにした。このような検出が可能なが明らかになれば、我々は過去の宇宙高エネルギー現象を読み解く新しいツールを獲得したことになり、この分野の知見が飛躍的に増加すると考えられる。本研究では高時間分解能の測定から、IntCalに見られた8世紀の ^{14}C 濃度増加は、AD774年から775年にかけて、1年間で急激に起こったことを明らかにした（誤差に対する有意性： 7.2σ ）。また、急激に増加した ^{14}C 濃度がBomb Effectと同様に減衰しており、炭素循環モデルによって説明できることを示した。AD774-775年の増加量は、通常の宇宙線変動と比べるとはるかに大きいので（約20倍）、通常の太陽磁場活動によるものではなく、宇宙高エネルギー現象をとらえたものと考えられる。今回の測定結果を北米・ヨーロッパの試料に基づくIntCalと比較するため、我々のデータを10年平均したところ両者が非常に良く一致した。従って、AD775年のイベントは、全球的な変化の記録である可能性が高い。 ^{14}C 濃度測定から、このような宇宙線イベントを明らかに検出したのは本研究が最初である。

AD775年の我々の論文が発表された後、様々な場でその原因について活発に議論が沸き起こった。その中で、太陽フレアによる大規模SPE (Solar Proton Event)を推す論文と、ショートガンマ線バーストが妥当とする論文が報告された。しかし、 ^{14}C イベントの発生頻度が不明だったため、それ以上の議論ができない状況にあった。これを受け、他にもAD775年イベントのような ^{14}C イベントがあるか調べるために、探索の年代を広げて ^{14}C 濃度を測定した。その結果、AD993年から994年にかけての ^{14}C 濃度の急増（ 5.1σ ）とそれに続く減衰が検出された。AD994年イベントの ^{14}C 濃度変動は、AD775年イベントと非常によく似た形をしていることから、両者の ^{14}C イベントを引き起こした原因は同種であると考えられる。また、南極のアイスコアから得られた、 ^{14}C と同じ宇宙線生成核種である ^{10}Be の10年値でもAD775年、994年付近に急激な増加が見られ、 ^{14}C 、 ^{10}Be 両者の増加量の比が同程度であることから、2つの ^{14}C イベントの原因が等しいことを示唆している。

本研究の西暦550-1100年にわたる長期間の ^{14}C 濃度測定により、2つの ^{14}C イベントを発見した。その結果 ^{14}C イベントの頻度(1回/800年)は、ショートガンマ線バーストの観測頻度よりもはるかに大きく、ショートガンマ線バーストが ^{14}C イベントの原因である可能性は低くなった。また、2つの ^{14}C イベントは太陽活動が比較的活発な時期に起きていることに加え、巨大太陽フレアによって引き起こされると予想される低緯度オーロラの歴史記録も見つかってきているため、大規模太陽フレアが原因として妥当であると考えられる。

史上最大の太陽フレアと言われているキャリントンフレアの発元年(1859年)の ^{14}C 濃度変化は、測定誤差以下であるため、見つかった ^{14}C イベントの規模は、キャリントンフレア時の ^{14}C 増加量が測定誤差程度だと仮定すると、その10倍以上であったと考えられる。仮にこの規模のフレアが現在発生した場合、人工衛星の故障や、通信網の破壊等による現代社会に与える影響は莫大だと予想される。今回の発見は、大規模フレアが将来においても発生する可能性を示したという意味で、非常に重要と言える。